

Fabrication of Micro Pump Using Micro-Milling Method

Yudan Whulanza¹, Kent Chester¹, Mohamad Safhire², Mustafa Kamal², Reza Afrianto², Shabrina Fadhilah³,
Muhammad S Utomo³, Gandjar Kiswanto^{1*}

¹Prodi Sarjana, Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia - Depok

²Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia - Depok

³Research Centre for Biomedical Engineering, Universitas Indonesia - Depok

*gandjar_kiswanto@eng.ui.ac.id

Abstract. Precision and accuracy are two important factors in microfabrication since micro scale products are emerging in medical, biochemistry, and space industries. Micropump is one of them. This paper focused in micropump fabrication. Using softlithography method to fabricate the micropump and microchannel. Also micro-milling for the molds. These methods successfully applied to produce microchannel with size 400 micrometer. However, there is 4% deviation between design and the micromilling product.

Abstrak. Seiring dengan kemajuan teknik fabrikasi mikro, presisi dan akurasi menjadi parameter penting. Aplikasi dari produk skala mikro memberikan manfaat ke berbagai bidang seperti kedokteran, biokimia, hingga ekspedisi luar angkasa. Salah satu produk mikro yang menjadi terobosan adalah pompa mikro (*micropump*). Penelitian ini memiliki fokus pada fabrikasi *micropump* beserta *microchannel* dengan metode *softlithography* dan *micro-milling* untuk pembuatan mold. Hasilnya metode tersebut dapat diterapkan untuk membuat *microchannel* dengan dimensi 400 mikrometer dengan deviasi 4% antara desain dan hasil permesinan.

Kata kunci : microfabrication, micromilling, micropump, microchannel, softlithography

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Riset dan Pengembangan fabrikasi semakin berkembang ditandai dengan semakin tinggi akurasi dan presisi skala pada suatu benda kerja. Skala yang semakin mengecil dari ukuran meter, centimeter, milimeter, hingga mikrometer membuat suatu terobosan baru dalam dunia fabrikasi dan memberikan manfaat yang besar untuk berbagai bidang aplikasi seperti kedokteran, *engineering*, komputer, biokimia hingga ekspedisi luar angkasa.

Pentingnya fabrikasi mikro memicu masalah bahwa masih sedikitnya pengembangan karena masih merupakan hal yang baru. Sehingga masih butuh adanya pemahaman untuk pada akhirnya dapat menjadi perkembangan muktahir di masa depan.

Dari pemikiran tersebut, didapat tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat *microchannel* yang dialiri aliran fluida dengan gaya penggerak pompa berskala mikro dengan tenaga pneumatik. Selain itu dengan melakukan proses desain hingga fabrikasi, akan timbul pemahaman mengenai proses aliran, cara kerja *micropump* dan perbedaan antara fabrikasi mikro dan makro secara jelas terkait dari karakterisasi benda mikro dan pengaruh pada proses manufakturnya.

Micropump adalah suatu mekanisme kerja mesin untuk mengubah energi mekanik menjadi

energi fluida pada *microchannel*. Energi fluida dibutuhkan untuk menambah tekanan dan aliran pada fluida yang mengalir di *microchannel* tersebut.

Micropump dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu aktif dan pasif. *Micropump* aktif membutuhkan dorongan (energi) dari luar untuk meningkatkan energi fluida sedangkan *micropump* pasif mengandalkan dorongan dari fluida itu sendiri.

Pada *micropump* aktif dibutuhkan energi dari luar untuk melakukan proses pemompaan. Untuk menghasilkan energi dari luar tersebut dibutuhkan suatu mekanisme sehingga menambahkan tingkat kompleksitas suatu alat, akan tetapi hal ini memungkinkan pengguna untuk mengatur laju pemompaan.

Beberapa jenis *active micropump* adalah *micropump* secara mekanik, pneumatik, elektrokinetik (piezoelektrik), elektrostatis, thermal, perubahan fase, elektromagnetik, aktuatur *shape memory alloy*, dan gaya eksternal [1].

Sedangkan *Pneumatic micropump* adalah salah satu jenis *active micropump* yang menggunakan tekanan *pneumatic*. *Pneumatic micropump* bekerja dengan menghasilkan gerak peristaltik pada membran sehingga fluida yang berada diantara membran bergerak dari posisi

awalnya dan menghasilkan perpindahan volume.

Jenis *Pneumatic micropump* yang digunakan adalah *normally-open rectangular channel micro pump*. Aplikasinya digunakan dalam *biochemical* termasuk *micro total analysis system* seperti minatur dari *flow injection analysis* (FIA).

Pneumatic membran pada *micropump* mengandalkan deformasi yang terjadi di sebuah membran tipis. Membran pneumatik tersebut terletak pada bagian atas *microchannel* dan dapat terdeformasi karena tekanan pada bagian bawah membran lebih besar daripada tekanan diatas membran [2].

Untuk menghasilkan tekanan tersebut dibutuhkan sebuah kompresor dan sebuah *valve* untuk menghasilkan gerakan pompa pada membran. Dengan membuat suatu *microchannel* untuk udara diatas *microchannel* fluida dan menempatkan membran di tengah-tengah kedua *microchannel* maka sistem di atas dapat dicapai.

Material yang digunakan untuk membuat *Micropump* dan *microchannel* adalah PDMS (*Polydimethylsiloxane*). Material ini dijadikan pilihan umum untuk prototipe dalam jumlah banyak pada pembuatan alat-alat *microfluidics*. *Chip* PDMS sangat umum digunakan di laboratorium. Hal ini dikarenakan harganya yang terjangkau dan fabrikasi yang mudah.

Keuntungan dari PDMS selain dari harga yang murah dan fabrikasi yang mudah adalah permukaan yang transparan, ketahanan tinggi, tidak beracun dan bio-kompatibel. Sedangkan kerugiannya adalah bersifat hidrofobik dan tidak cocok untuk operasi bertekanan tinggi karena dapat mengubah geometri dari *channel*.

Metode Penelitian

Untuk membuat *micropump*, perlu pemahaman lebih dalam akan bagaimana cara kerja *micropump* itu sendiri, maka langkah membaca kajian dan jurnal-jurnal ilmiah merupakan hal yang penting. Mengetahui perhitungan-perhitungan, material, dan cara kerja gerak bagian-bagian dari *micropump* tersebut. Disini bisa didapat hasil pengetahuan mengenai *micropump* dan *microvalve*, PDMS, serta aplikasi dari *micropump* ini.

Setelah langkah tersebut, dilakukan perancangan dengan menggunakan *Autodesk Fusion* dan juga *Autodesk Inventor* (benda statis). *Micro-channel*

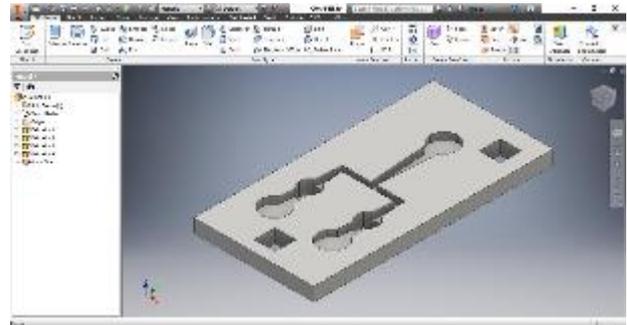
yang dibuat merupakan bentuk *rectangular* dan memiliki 1 *inlet* serta 2 *outlets*. Setelah itu akan dibuat desain dari saluran udara yang digunakan untuk *Pneumatic Micropump*.

Kemudian, dilakukan simulasi dengan menggunakan *Comsol Multphysics*® versi 5.1 untuk menjalankan tiga buah simulasi; simulasi untuk mengetahui apakah desain yang dibuat dapat dialiri fluida atau tidak, simulasi pada membran PDMS dilakukan dengan *time-dependent simulation* pada membran sebagai simulasi dari tenaga pneumatik, juga simulasi ketika membran berdefleksi maksimal didalam *micro-channel*. Sehingga terlihat laju aliran yang berubah pada aliran yang diberikan gaya tekan oleh pompa.

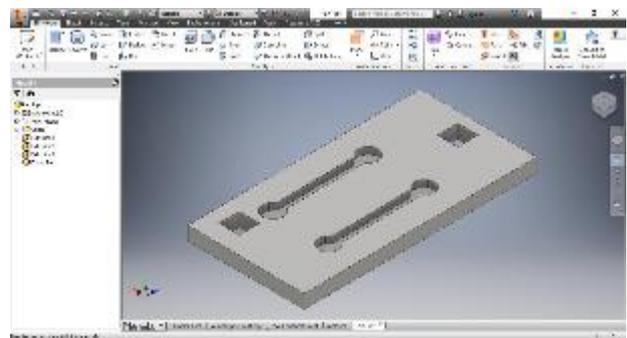
Setelah sudah dilakukan simulasi dan dipastikan akan dibuat benda jadinya, maka desain akan dikerjakan di *Autodesk Fusion* sebagai bagian dari rancangan yang nantinya akan difabrikasi menjadi bentuk nyata.

Desain & Simulasi

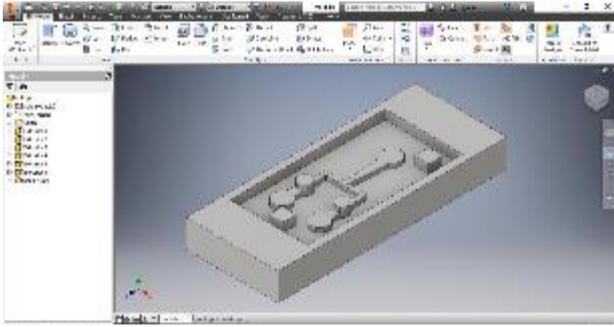
Berikut adalah hasil CAD yang telah didesain dengan *Autodesk Inventor*:



Gambar 1. CAD Micro-channel Bentuk Jadi

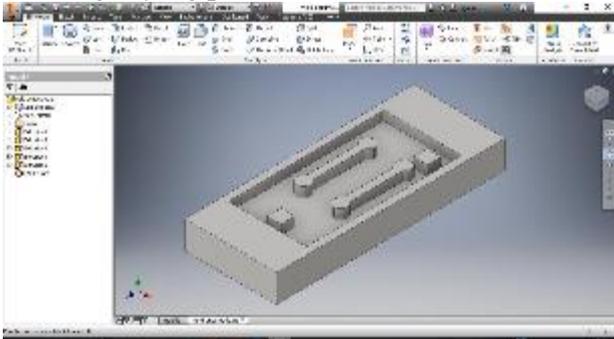


Gambar 2. CAD Pneumatic Channel Bentuk Jadi



Gambar 3. CAD Molding Micro-channel untuk Fluida Cair

Produk jadi yang dihasilkan adalah *microchannel* untuk fluida cair dan *microchannel* untuk tekanan pneumatik. Skematik produk yang dihasilkan akan dikombinasikan satu dengan yang lainnya dengan menggunakan *aligner* berbentuk kotak yang dihubungkan untuk mendapatkan sambungan yang pas antara kedua *microchannel*.



Gambar 4. CAD Molding Micro-channel untuk Pneumatik

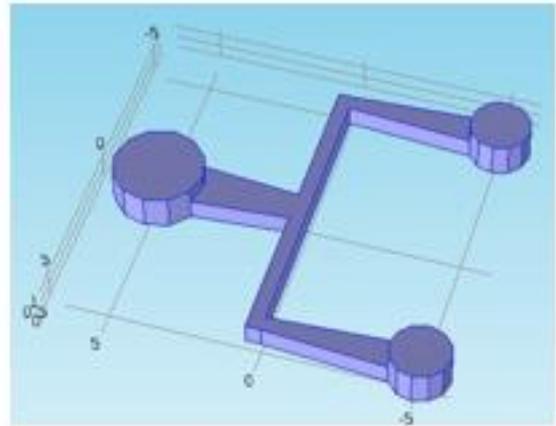
Gambar 3 dan Gambar 4 merupakan cetakan yang nantinya akan membentuk benda jadi seperti Gambar 1 dan Gambar 2. Pada CAD, kedua *mold* memiliki ukuran casing dengan lebar 1 mm dan panjang 2 mm. Untuk pompa, diameternya adalah 150 mikrometer, sedangkan panjang *channel* pneumatik adalah 570 mikrometer. Panjang *microchannel* hingga posisi menyebar adalah 400 mikrometer dan panjang dari posisi menyebar hingga *reservoir outlet* juga 400 mikrometer.

Simulasi dari desain ini dilakukan untuk mengetahui persebaran tekanan, kecepatan fluida, stress, dan *displacement* pada *micropump*. Berdasarkan komponen yang simulasi dibagi menjadi tiga jenis yaitu simulasi *channel*, simulasi membran, dan simulasi aliran pada saat *channel* diberikan tekanan oleh pompa.

Simulasi *channel* dilakukan untuk mengetahui distribusi tekanan dan kecepatan fluida pada *channel*. Jenis fluida yang digunakan adalah air. Parameter input yang harus diberikan sebelum melakukan simulasi yaitu jenis aliran yang akan

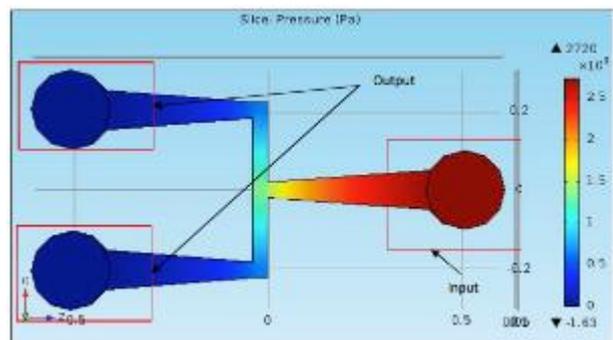
disimulasikan, mass flow dari fluida, dan tekanan pada *output* aliran [3].

Jenis aliran yang digunakan pada simulasi adalah *creeping flow* karena aliran yang bekerja pada *channel* memiliki bilangan *Reynold* < 1 (laminar) dan kecepatan fluida yang mengalir sangat lambat.

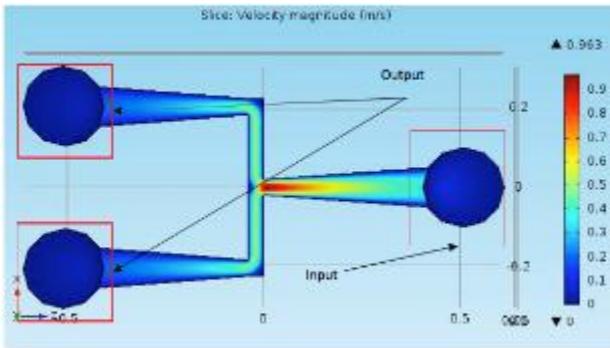


Gambar 5. Geometri Micro-channel

Parameter selanjutnya yang harus diberikan adalah pada *inlet* dan *outlet channel*. Pada *inlet*, *mass flow rate* yang harus diberikan adalah 1×10^{-6} kg/s dan pada *outlet* tekanan yang harus diberikan adalah 0 Pa. Terakhir, menentukan daerah yang harus dijadikan *inlet* dan *outlet* pada *channel*. Setelah semua parameter diberikan proses selanjutnya adalah proses *meshing*, proses *meshing* merupakan proses pembagian benda kerja menjadi beberapa bagian dan semakin banyak *mesh* akan semakin baik hasil yang akan didapatkan. Proses terakhir adalah menjalankan simulasi, dan hasil yang didapatkan adalah distribusi tekanan dan kecepatan pada *channel*.



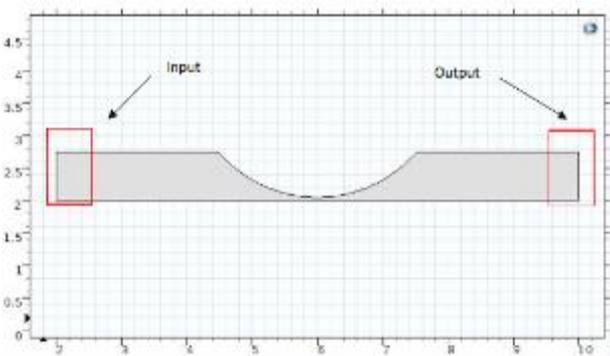
Gambar 6. Distribusi Tekanan pada Channel



Gambar 7. Distribusi Kecepatan pada Channel

Pada distribusi tekanan yang ditampilkan pada Gambar 6 terlihat bahwa tekanan yang paling besar adalah pada *inlet* yaitu 0.8 Pa dan tekanan yang paling rendah adalah pada *outlet* yaitu 0 Pa. Pada distribusi kecepatan yang ditampilkan pada Gambar 7 terlihat bahwa kecepatan yang paling tinggi berada pada penyempitan channel pada *inlet* dan kecepatan pada daerah tersebut adalah sekitar 2.75×10^{-4} m/s.

Simulasi aliran pada *micropump* bertujuan untuk mengetahui perbedaan tekanan yang dihasilkan pada saat membran menekan fluida. Beda tekanan yang harus dihasilkan pada membran ketika menekan fluida harus lebih besar dengan beda tekanan pada *channel* agar pompa dapat mengalirkan fluida. Sebelum melakukan simulasi, terlebih dahulu ditentukan geometri dari *channel* dan parameter yang harus diberikan kepada *software* yaitu berupa besar perpindahan yang dihasilkan oleh membran, *mass flow rate* fluida, dan tekanan pada *outlet*.

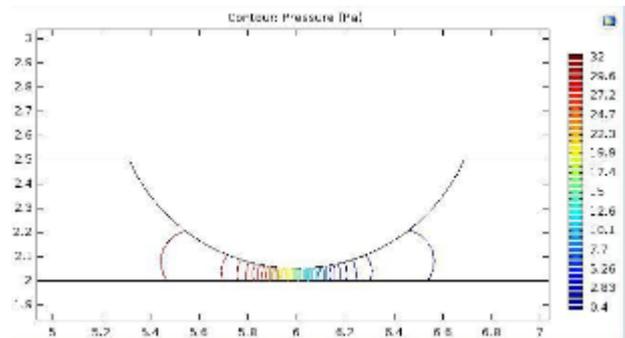


Gambar 8. Geometri dari Micropump

Pada Gambar 8 terlihat geometri dari *micropump* dengan diameter membran adalah 3 mm dan besar defleksi dari membran adalah 1.4 mm.

Jenis aliran yang digunakan pada simulasi adalah *creeping flow* karena aliran yang bekerja pada channel memiliki bilangan *Reynold* < 1

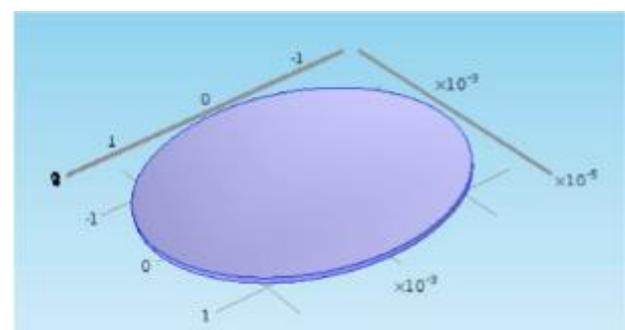
(laminar) dan kecepatan fluida yang mengalir sangat lambat. Parameter selanjutnya yang harus diberikan pada inlet, *mass flow rate* dengan nilai 1×10^{-6} kg/s dan pada *outlet* tekanan yang harus diberikan adalah 0 Pa, serta terakhir adalah menentukan daerah yang harus dijadikan *inlet* dan *outlet* pada *channel*.



Gambar 9. Distribusi Tekanan

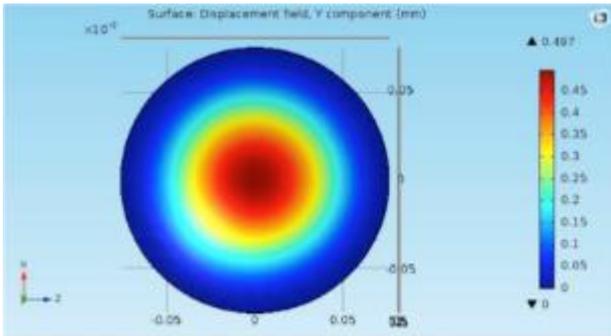
Pada Gambar 9 terlihat distribusi tekanan pada saat membran menekan fluida dan tekanan maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 49.6 Pa. Perbedaan tekanan yang dihasilkan adalah 49.6 Pa, karena tekanan pompa lebih besar dari pada tekanan *channel*, maka pompa mampu untuk mengalirkan fluida dengan *mass flowrate* sebesar 1×10^{-6} kg/s.

Simulasi membran bertujuan untuk mengetahui *stress* maksimum dari membran, *displacement* maksimum dari membran, dan waktu respon dari membran. Sebelum melakukan simulasi, ditentukan terlebih dahulu geometri dari membran serta parameter yang harus diberikan kepada *software* yaitu berupa besar tekanan yang diberikan dan *displacement* yang diinginkan. Berikut ini merupakan geometri yang harus dibuat untuk membuat simulasi membran.



Gambar 10. Geometri dari Membran

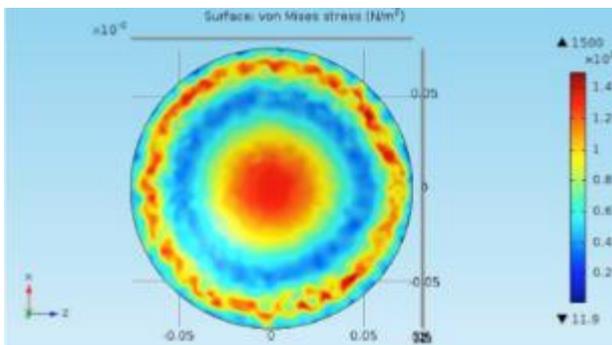
Pada Gambar 10 terlihat geometri dari membran dengan diameter 3 mm dengan ketebalan 0.05 mm dan besar defleksi dari membran adalah 1.4 mm.



Gambar 11. Distribusi Displacement

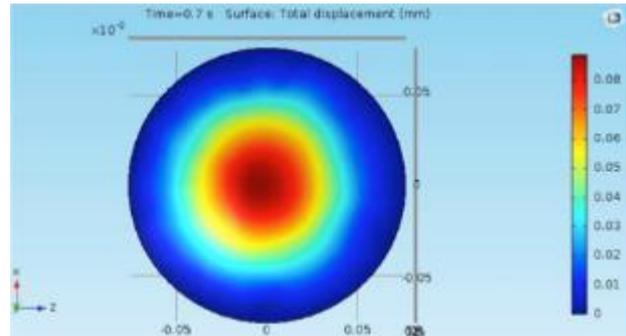
Pada distribusi *displacement* yang ditampilkan pada Gambar 11 terlihat bahwa *displacement* yang paling besar adalah pada pusat membran yaitu sekitar 2 mm.

Jenis mekanika yang digunakan pada simulasi adalah *solid mechanics* karena membran akan dianalisis dengan memberikan beban kepada membran untuk mengetahui *stress* dan *displacement* dari membran. Parameter selanjutnya yang harus diberikan adalah beban yang diberikan kepada membran yaitu sebesar 160 Pa dan menentukan posisi pembebanan. Sebelum melakukan simulasi, proses *meshing* dilakukan terlebih dahulu.



Gambar 12. Distribusi Stress

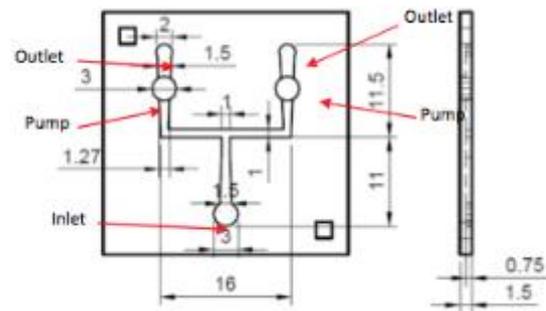
Pada distribusi *stress* yang ditampilkan pada Gambar 12 terlihat bahwa *stress* terbesar terjadi pada tepi dari membran yaitu dengan nilai 9.05×10^4 Pa.



Gambar 13. Distribusi Displacement pada Simulasi Time-dependent

Simulasi *time-dependent* bertujuan untuk mengetahui pada waktu beberapa membran akan mengalami defleksi maksimum. Pada Gambar 13 terlihat bahwa *displacement* maksimumnya adalah 5 mm dan pada waktu ke 0.7 s.

Setelah bagian simulasi, akan dilakukan desain untuk CAM. Dibawah merupakan desain yang terdiri dari 3 bagian utama *inlet*, *outlet*, dan *pump*. Dimensi dari *inlet* adalah 3 mm dan *outlet* adalah 2 mm. Terdapat dua *inlets* dan dua pompa pada konfigurasi ini yang disusun secara simetris. Pompa ini dibawahnya akan ada membran yang digerakan oleh tekanan udara. Lubang pompa ini berdiameter 3 mm dengan aspek rasio 2:1. Hal ini dilakukan karena dari kebanyakan literatur selalu memberikan aspek ratio lebih besar dari 1 atau lubang cenderung lebar. Dimensi ditentukan seperti ini agar membran dapat lebih mudah berkontraksi dan tidak tertahan oleh material *channel*.



Gambar 14. Desain Micro-channel yang Diinginkan

Kelemahan dari desain *micropump* ini adalah kemungkinan adanya *blowback* atau keadaan ketika pompa mengalirkan fluida ke *outlet* dan juga *inlet*. Tentunya hal ini tidak diinginkan. Oleh karena itu, untuk menurunkan besarnya *blowback*, *diffuser* dibuat pada sisi inlet dan outlet pompa. *Diffuser* membuat aliran ke *inlet* lebih besar hambatannya dari ke *outlet* sebab air selalu mengalir ke daerah yang hambatannya lebih rendah.

Proses fabrikasi dilakukan dengan proses *micro-milling* yang dilakukan di DTM FTUI dengan

material *mold* berupa akrilik. Untuk proses pemesinan di pilih *depth of cut* yang kecil agar nilai *roughness* pada *mold* juga menjadu kecil serta *spindle speed* yang tinggi agar *machining frequency* -nya juga tinggi. Hal ini memengaruhi permukaan. Sedangkan untuk *passing* awal dipilih mata pahat yang besar, yakni 3 mm untuk melakukan operasi *roughing* . Operasi ini berdurasi 1.2 jam.

Pada simulasi CAM, *cutting parameter* di set rendah sebab perilaku akrilik belum diketahui. Dalam operasi *finishing* , digunakan mata pahat mikro. Jadi total dari proses fabrikasi akan dilakukan 1 kali *tool change* dan total estimasi waktu *roughing* 1.2 jam. Beberapa *test cuts* harus dilakukan dahulu untuk mengetahui *cutting parameters* yang sesuai dalam menghasilkan permukaan yang diinginkan.

Fabrikasi dan Pengukuran

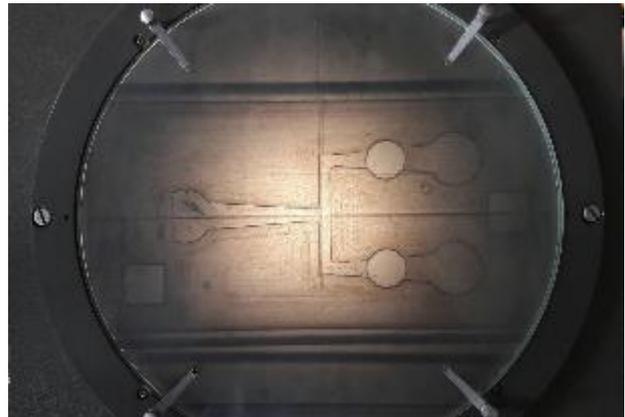
Proses *machining* menggunakan mesin *micro-milling 5-axis* dari *Suruga Seiki* . Mata pahat yang digunakan adalah 0.5 mm pada *mold micro-channel* fluida selama 6 jam dan 0.2 mm pada *mold microchannel* pneumatik selama 12 jam. Penggunaan mata pahat yang berbeda ini dikarenakan adanya perbedaan kondisi dan kebutuhan pada tiap *mold* akrilik. Kecepatan *spindle speed* yang diberikan pada mesin adalah 20000-rpm dengan deviasi kurang lebih 8000 poin. Proses *Roughing* tidak dilakukan.



Gambar 15. Mold Akrilik

Hasil *machining* dapat dilihat pada Gambar 15, sebagai bentuk *microchannel* fluida yang

diinginkan sesuai dengan CAD yang telah dibuat dan Gambar 26 sebagai bentuk *mold* pneumatiknya.



Gambar 16. Mold Akrilik Micro-channel



Gambar 17. Mold Akrilik Pneumatik

Dalam perkembangannya, hasil dari *microchannel* pneumatik memiliki *reservoir* yang berbentuk segi 5. Hal ini dikarenakan ada perbedaan panjang mata pahat yang digunakan.

Proses *casting* PDMS merupakan bentuk *casting* bentuk jadi dari *mold* yang telah dibentuk sebelumnya dengan material akrilik. Secara normal, sebuah campuran PDMS adalah campuran antara *base* PDMS dan *curing agent/hardener* dengan rasio 10:1. Bahan PDMS memiliki massa jenis yang sama dengan massa jenis air yaitu 1000 gram/cm³. Sehingga jika dikalkulasikan, massa PDMS yang dibutuhkan untuk *mold microchannel* dengan volume 1.5 mm³ adalah 1.5 gram. Pada praktek aktual, 3.2 grams PDMS dan 0.29 grams *hardener* digunakan untuk dua *mold* akrilik.

Alur kegiatan proses *casting* PDMS dilakukan sesuai [4], meskipun terdapat modifikasi prosedur karena perbedaan kondisi, dengan melakukan pencampuran PDMS dengan *hardener* dan diaduk rata selama 30 detik hingga mulai bergelembung. Kemudian campuran dituang ke dalam kedua *mold* akrilik yang telah dibuat.

Tabel 1. Mold Micro-channel Pompa

<i>Aligner 1</i>	<i>Aligner 2</i>	Diameter <i>Outlet</i>	Diameter Pompa	Lebar Saluran	Diameter <i>Inlet</i>
1.507	1.536	2.071	1.609	0.410	2.117
1.522	1.565	2.073	1.601	0.420	2.043
1.508	1.536	2.062	1.550	0.410	2.096
1.507	1.536	2.059	1.537	0.410	
1.493	1.551	2.066	1.537	0.410	
		2.031	1.540		

Setelahnya langsung dilakukan proses vakum gelembung dengan mesin vakum. Hal ini dilakukan selama 1.5 jam. Terakhir, dilakukan proses *heating* pada *mold* dengan tujuan mempercepat pengerasan PDMS yang dilakukan pada temperatur 70 derajat

Tabel 2. Mold Micro-channel Pneumatik

<i>Aligner 1</i>	<i>Aligner 2</i>	Lebar Saluran	Panjang Saluran
1.352	1.309	0.421	8.190
1.442	1.367	0.360	8.161
1.397	1.395	0.372	8.248
1.397	1.382	0.372	8.087
1.352	1.396	0.384	8.203
		0.433	8.131
		0.384	8.145
		0.384	8.118
		0.421	8.189
		0.408	8.160

celcius selama 1 jam. Hal ini dipertimbangkan dengan temperatur transisi bahan gelas berada diantara 105-165 derajat *celcius*. Jika akrilik dipanaskan pada suhu transisi tersebut, ditakutkan akan terjadi deformasi pada benda polimer.

Dari hasil *heating* pada PDMS, didapatkan bentuk jadi dari kedua *microchannel* yang diekstrak dari kedua *mold* akrilik. Bentuk jadi yang diinginkan kemudian digabungkan dengan urutan: *layer* akrilik, *layer microchannel* untuk pneumatik, *layer* membran PDMS tipis, *layer microchannel* untuk fluida dan, *layer* Akrilik.

**Gambar 18. PDMS Micro-channel**

Lapisan-lapisan yang sudah ditumpuk kemudian disatukan dengan cara dipanaskan dengan suhu 70 derajat celcius selama 15 menit. Kemudian didiamkan selama 5 menit untuk proses pendinginan. *Active Pneumatic Micropump* sudah siap untuk dilakukan pengujian.

Hasil pengukuran yang dilakukan pada benda kerja yaitu *mold* akrilik dan *microchannel* PDMS dilakukan menggunakan alat ukur *Dynolite*, yang kemudian di tampilkan pada *software Dynocapture 2.0*. Pengambilan data pengukuran dilakukan menggunakan *Dynolite* dengan mencari dimensi yang terukur pada skala yang ditentukan pada operasi *Dynolite*.

Pengukuran pertama dilakukan pada beberapa bagian di *mold microchannel* seperti: diameter *inlet*, diameter *outlet*, diameter pompa, lebar saluran dan *aligner* (Tabel 1). Pengukuran dimensi kedua yang dilakukan pada beberapa bagian di *mold* pneumatik seperti: lebar saluran, panjang saluran, lebar *mold*, panjang *mold* dan *aligner*. (Tabel 2)

Pada pengukuran *mold* pneumatik, didapatkan 2 data penting, yaitu *aligner* dan luasan saluran. *Aligner 1* dan *aligner 2* dihitung sebanyak 5x sedangkan panjang saluran dan lebar saluran dihitung sebanyak 10x.

Pengukuran ketiga dilakukan pada PDMS *microchannel* untuk fluida dengan rincian sama

Tabel 3. PDMS *Micro-channel* Pompa

Aligner 1	Aligner 2	Diameter Outlet	Diameter Pompa	Lebar Saluran	Diameter Inlet
1.580	1.551	2.029	1.507	0.420	2.015
1.566	1.551	2.064	1.493	0.450	2.015
1.580	1.565	2.037	1.523	0.435	2.015
1.566	1.580	2.043	1.536	0.435	
1.580	1.551	2.053	1.551	0.450	
		2.036	1.493		
			1.487		
			1.532		

dengan *mold* yaitu bagian diameter *inlet*, diameter *outlet*, Diameter pompa, lebar saluran dan *aligner*. (Tabel 3)

Pada pengukuran PDMS pompa, parameter pengukuran sama dengan parameter pada pengukuran akrilik. Yang berbeda adalah pengukuran diameter pompa berlebih 2x karena

Perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan *mean*, standar deviasi dan standar eror adalah sebagai berikut:

$$\text{Mean} : \bar{\chi} = \frac{\sum_{i=1}^n \chi_i}{n} \quad (1)$$

Tabel 4. PDMS *Micro-channel* Pneumatik

Aligner 1	Aligner 2	Lebar Saluran	Panjang Saluran
1.262	1.247	0.464	7.826
1.277	1.232	0.449	7.971
1.276	1.276	0.391	7.928
1.276	1.247	0.478	7.856
1.248	1.261	0.536	7.899
		0.493	7.870
		0.478	7.928
		0.464	7.884
		0.493	7.914
		0.478	7.841

pada proses permesinan, dimensi diameter terdapat bentuk yang agak menyimpang, sehingga diameter pompa mendapat 8x pengukuran.

Pengukuran keempat dilakukan pada PDMS *microchannel* untuk pneumatik dengan rincian panjang saluran, lebar saluran dan *aligner*. (Tabel 4)

Parameter yang dilakukan untuk proses pengukuran PDMS pneumatik adalah sama dengan *mold*-nya.

Analisis terhadap pengukuran dimensi pada Dynolite, kemudian diekstrak dalam bentuk *excel* yang lalu di analisis. Hasil dari analisis pengukuran dimensi pada *mold* dan PDMS *microchannel* seperti yang tertera pada Tabel 1 – Tabel 4 dengan beberapa bentuk analisis statistika berbentuk rata-rata *mean*, standar deviasi dan standar eror.

$$\text{Standard Deviation} : s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n} \quad (2)$$

$$\text{Standard Error} : s_y = \sqrt{\frac{s^2}{n}} \quad (3)$$

Dimana $\bar{\chi}$ adalah *mean*, χ_i adalah nilai sampai dengan i , dan n adalah jumlah sampel.

Dengan metode kalkulasi diatas secara statistik ditemukan penyebaran seperti pada Tabel 5 - 8.

Dari hasil perhitungan, didapatkan beberapa poin analisis. Pertama, untuk *aligner*, dirancang dalam bentuk persegi sepanjang 1.5 mm. Setelah proses permesinan, didapatkan perbedaan hingga 0.045mm. Artinya ada simpangan sebesar 3% dari bentuk yang diinginkan terhadap *mold* yang dibuat. Untuk *mold* pneumatik perbedaan yang didapat hingga 0.13 mm yang berarti simpangan 7% dari

Tabel 5. Mold Micro-channel Pompa

	Aligner 1	Aligner 2	Diameter Outlet	Diameter Pompa	Lebar Saluran	Diameter Inlet
Mean	1.507	1.545	2.06	1.562	0.411	2.085
Standard Deviation	0.01	0.013	0.015	0.033	0.016	0.038
Standard Error	0.005	0.006	0.007	0.015	0.007	0.017

bentuk yang diinginkan. Besaran tersebut diakibatkan oleh penggunaan mata pahat yang berbeda (0.2 mm) dari yang direncanakan sebelumnya (0.5 mm). Karena mata pahat yang jauh lebih kecil, membuat akurasi menjadi bergeser.

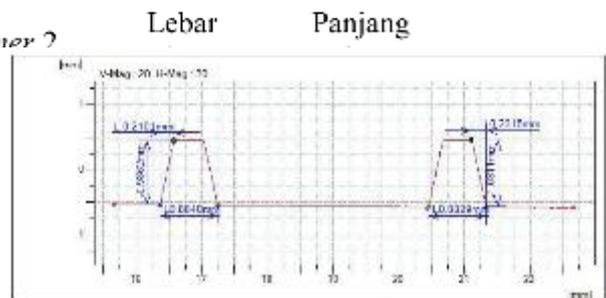
Kedua, untuk lebar saluran didesain untuk memberikan bentuk saluran dengan lebar 0.4mm dan panjang 8mm. Untuk perbandingan lebar, terdapat simpangan 0.011 mm yang berarti 3% simpangan terjadi pada lebar saluran dibandingkan

mold sehingga terdapat ruang kosong yang sedikit jika PDMS dimasukkan kembali ke *mold*.

Pengukuran kontur bertujuan untuk mengetahui ketinggian pada *mold* yang telah dibuat. Dari hasil pengukuran, didapatkan dua buah grafik untuk kedua buah *mold*. Grafik tersebut didapatkan dengan menggunakan alat *Surfcom 130*.

Tabel 8. PDMS Micro-channel Pneumatik

	Aligner 1	Aligner 2	Lebar	Panjang
Mean	1.2678	1.2		
Standard Deviation	0.0127	0.0		
Standard Error	0.0057	0.0		



dengan proses *machining*. Untuk panjang saluran, terdapat perbedaan hingga 0.163 mm yang berarti 2% simpangan terjadi.

Ketiga, untuk diameter *inlet* dan *outlet* pada *mold* akrilik memberikan hasil mirip dengan

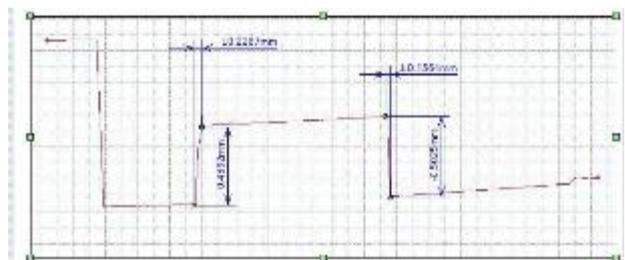
Tabel 6. Mold Micro-channel Pneumatik

	Aligner 1	Aligner 2	Saluran	Saluran
Mean	1.388	1.370	0.394	8.163
Standard Deviation	0.038	0.036	0.092	0.046
Standard Error	0.017	0.016	0.041	0.021

Gambar 19. Grafik Kontur Micro-channel Pompa

diameter desain yaitu 2.0 mm. Nilai 0.085 mm menjadi simpangan sebesar 4% terhadap nilai diameter pada desain. Selain itu, pada perhitungan *mold*, dapat diketahui bahwa simpangan deviasi yang terjadi berada dibawah 10% yang berarti desain mendekati hasil optimal desain.

Terakhir, untuk analisis terhadap PDMS memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan nilai akrilik dengan simpangan terbesar hingga 4%. Perbedaan dikarenakan bentuk *mold* yang diinginkan memberikan bentuk lebih kecil daripada besar *mold*, yang berarti penyusutan dari dimensi *mold* sebesar rata-rata 4%. Adapun faktor lainnya, terjadi penyusutan pada PDMS terhadap



Gambar 20. Grafik Kontur Micro-channel Pneumatik

Tabel 7. PDMS Micro-channel Pompa

	<i>Aligner 1</i>	<i>Aligner 2</i>	Diameter <i>Outlet</i>	Diameter Pompa	Lebar Saluran	Diameter <i>Inlet</i>
<i>Mean</i>	1.5744	1.5596	2.0437	1.5153	0.438	2.0151
<i>Standard Deviation</i>	0.0077	0.0129	0.0128	0.0236	0.0125	0.0002
<i>Standard Error</i>	0.0034	0.0058	0.0057	0.0106	0.0056	0.0001

Hasil pengukuran dengan *Surfcom* memberikan informasi bahwa ketinggian *mold* pneumatik adalah 0.48 mm hingga 0.525 mm dan untuk *mold* pompa adalah 0.986 mm hingga 1.031 mm. Pembesaran yang digunakan pada *surfcom* adalah 20x.

Kesimpulan dan Saran

Mold pompa pneumatik skala mikro dapat diproduksi menggunakan *5 Axis Micro-Milling* buatan *Suruga Seiki* untuk *microchannel* bentuk *rectangle* hingga besaran 400 mikrometer. Hasil pengukuran yang didapatkan dari proses permesinan memberikan 4% deviasi dibandingkan dengan nilai desain. Berdasarkan proses desain, pompa mikro beserta pneumatiknya memiliki dimensi 10 x 30 x 4.5 setelah dirakit.

Pola aliran pada *active pneumatic micropump* dapat disimulasikan menggunakan *software* simulasi seperti *Comsol Multiphysics®*. *Software* semacam ini sangat membantu proses *design* aliran semacam *micropump*. Setelah dilakukan simulasi, pompa dapat difabriksi dan diuji.

Sedangkan rekomendasi untuk penelitian lanjutan adalah perlu dibuat alat bantu untuk melepas *microchannel* dari *mold* karena ukurannya yang kecil, *microchannel* rentan untuk rusak ketika dilepas.

Sebelum memulai desain awal, sudah harus ditentukan nilai maksimal dimensi yang harus dibuat, misalnya untuk bentuk persegi panjang adalah 2 cm x 2cm persegi. Hal ini bertujuan untuk mengurangi lamanya perombakan desain. Untuk kedepannya, diharapkan dapat mencapai dimensi yang jauh lebih kecil lagi dari 400 mikron.

Perlu dilakukan juga pengukuran terhadap *surface roughness* selain pengukuran dimensi menggunakan *Dynolite*.

Penghargaan

Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan dukungan dana hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi 2018 yang diselenggarakan oleh RISTEKDIKTI

References

- [1] Z. C., X. D. und L. Y., „Micropumps, microvalves, and micromixers within PCR microfluidic chips: Advances and trends,“ *Biotechnol Advances*, Bd. 25, Nr. 5, pp. 483-514, 2007.
- [2] O. Jeong und S. Konishi, „Fabrication of a peristaltic micropump with novel cascaded actuators,“ *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Bd. 18, Nr. 2, 2008.
- [3] E. Berthier und D. Beebe, „Flow rate analysis of a surface tension driven passive micropump,“ *Lab on a Chip*, Nr. 11, 2007.
- [4] Y. A. R. A. R. U. M. S. & B. B. M. Whulanza, „Ease fabrication of PCR modular chip for portable DNA detection kit,“ *AIP Conference Proceedings*, Bd. 1817, Nr. 1, 2017.